Hardenability

ABBAS KHAMMAS

2014

Hardenability

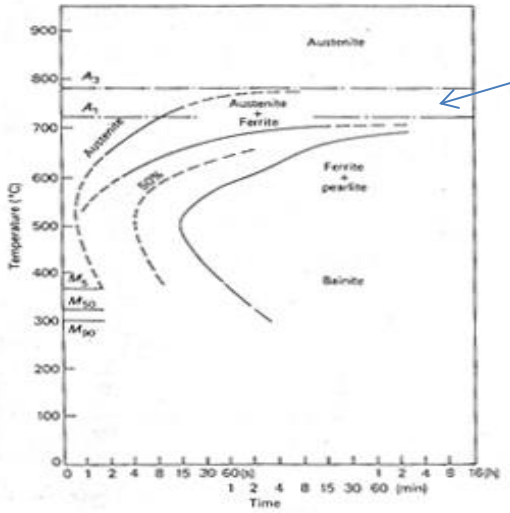
- We have seen the advantage of getting martensite, M. We can temper it, getting TM with the best combination of ductility and strength.
- But the problem is this: getting M in depth, instead of just on the surface. We want a steel where Pearlite formation is relatively sluggish so we can get it to the cooler regions where M forms.
- The ability to get M in depth for low cooling rates is called hardenability.
- Plain carbon steels have poor hardenability.

Factors Which Improve Hardenability

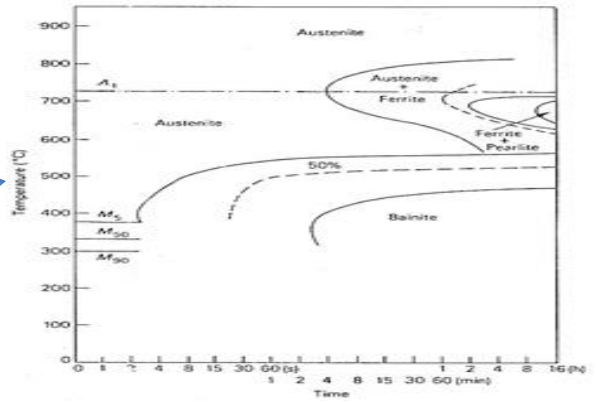
1. Austenitic Grain size. The Pearlite will have an easier time forming if there is a lot of g.b. area. Hence, having a large austenitic grain size improves hardenability.

- 2. Adding alloys of various kinds. This impedes the $\gamma \rightarrow$ P reaction.

TTT diagram of a molybdenum steel 0.4C 0.2Mo

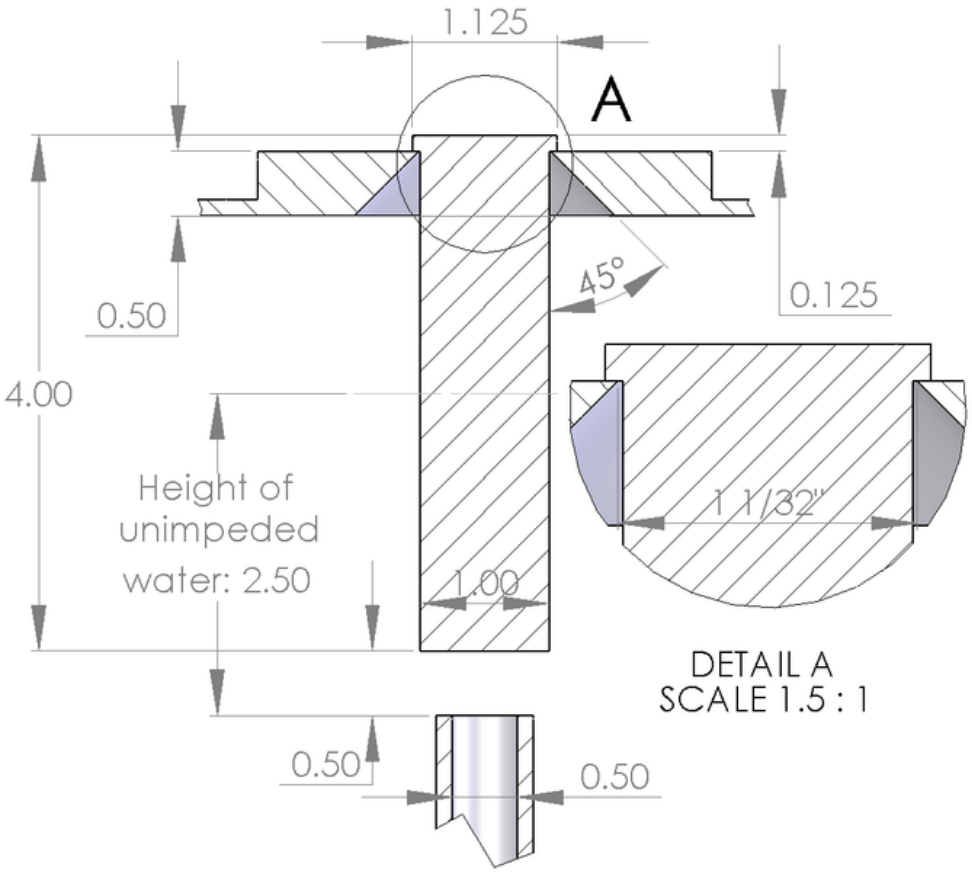


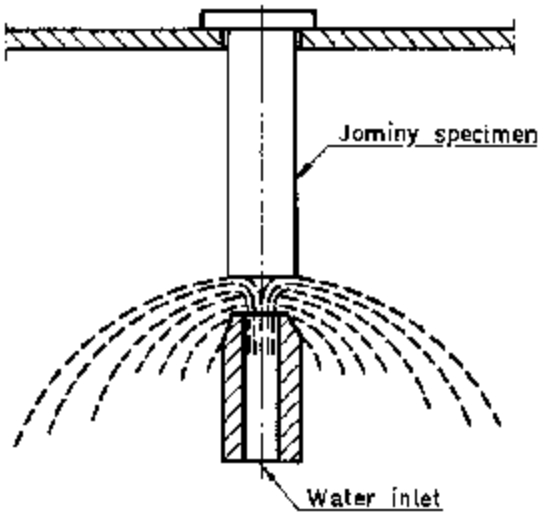
After Adding 2.0% Mo



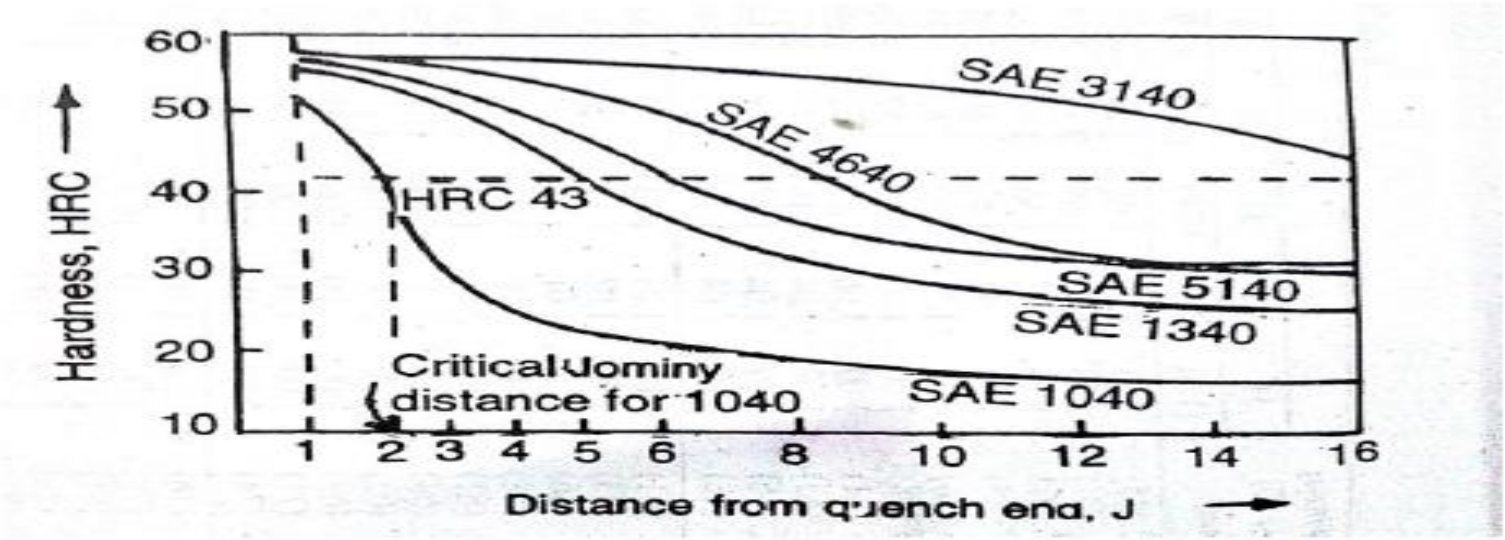
Jominy Test for Hardenability

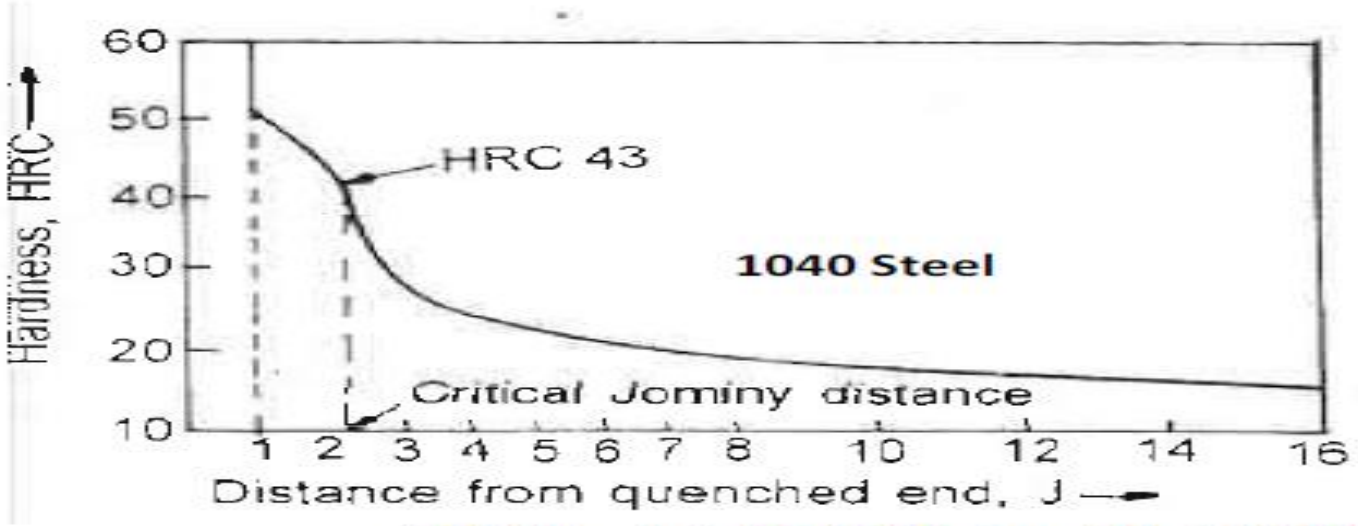
- Hardenability not the same as hardness!





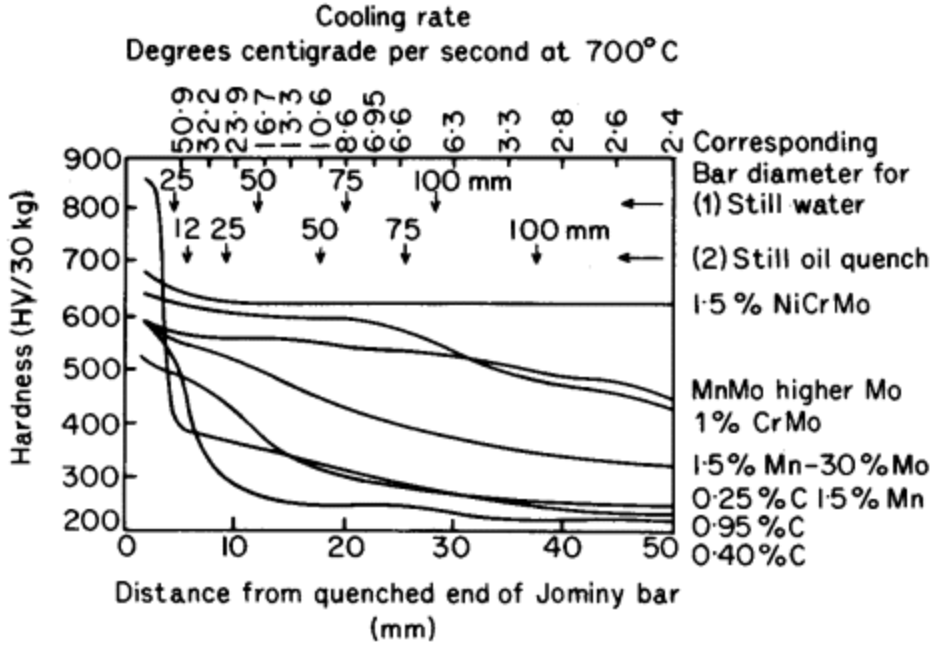
إن نقطة الإنقلاب في هذه المنحنيات تناظر التركيب 50%Martensite و هو





الشكل(26-6) منحنيات جومني لقابلية التصليد لبعض سبائك الفولاذ

The Result is Presented in a Curve

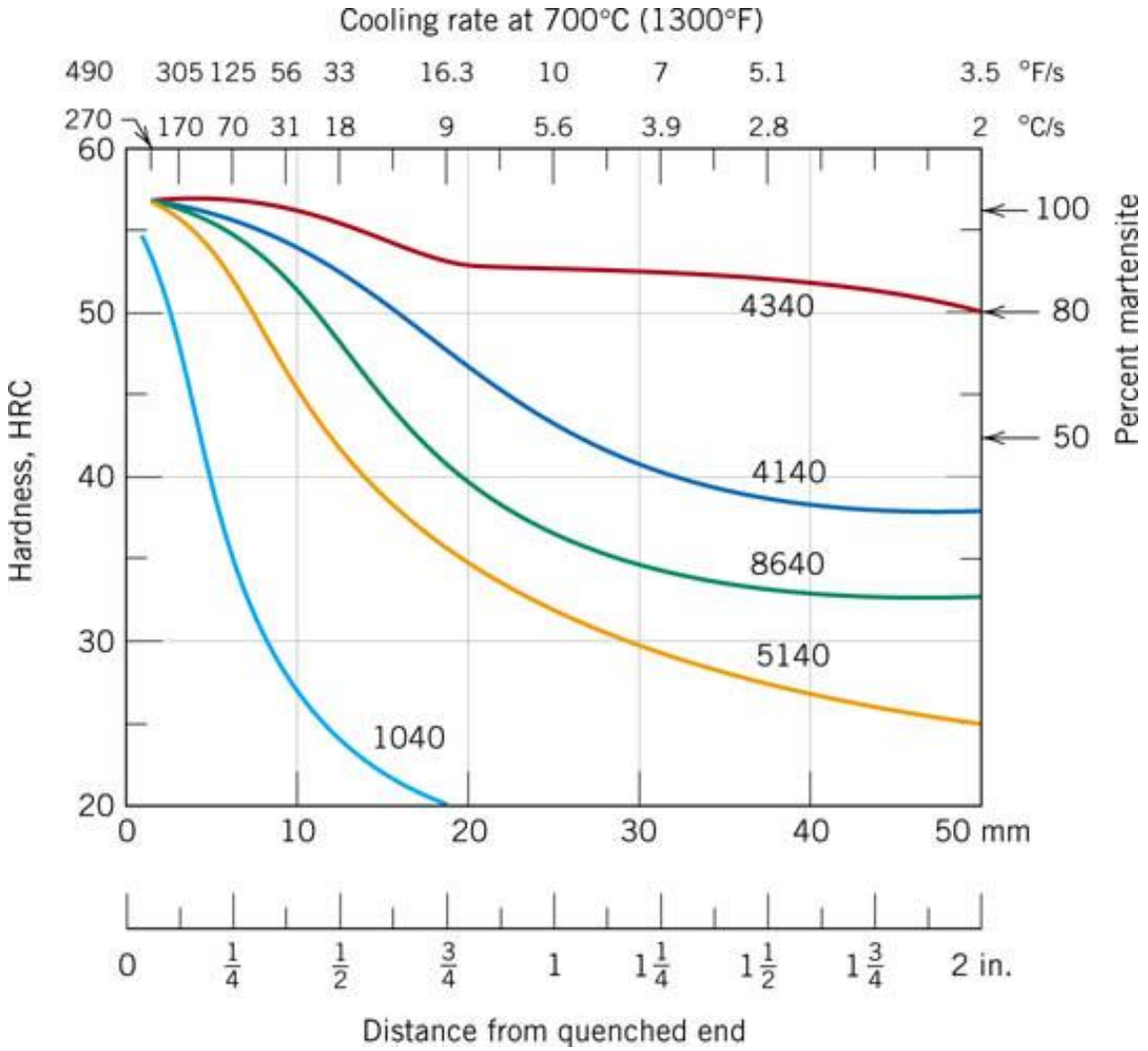


Rank steels in order of hardenability.

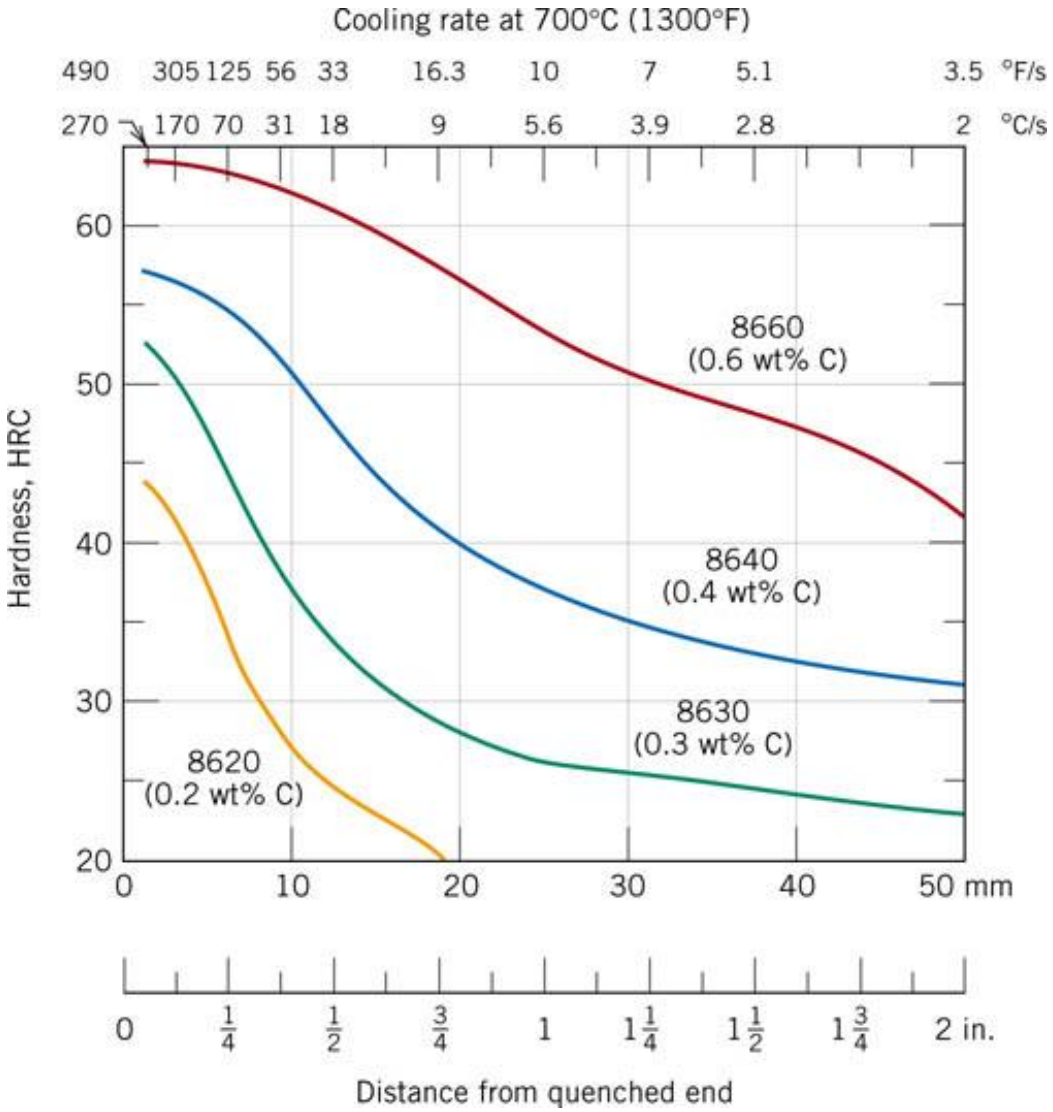
Note:

1. Distance from quenched end corresponds to a cooling rate, and a bar diameter
2. Notice that some steels drop off more than others at low cooling rates. Less hardenability!

Alloying and Hardenability

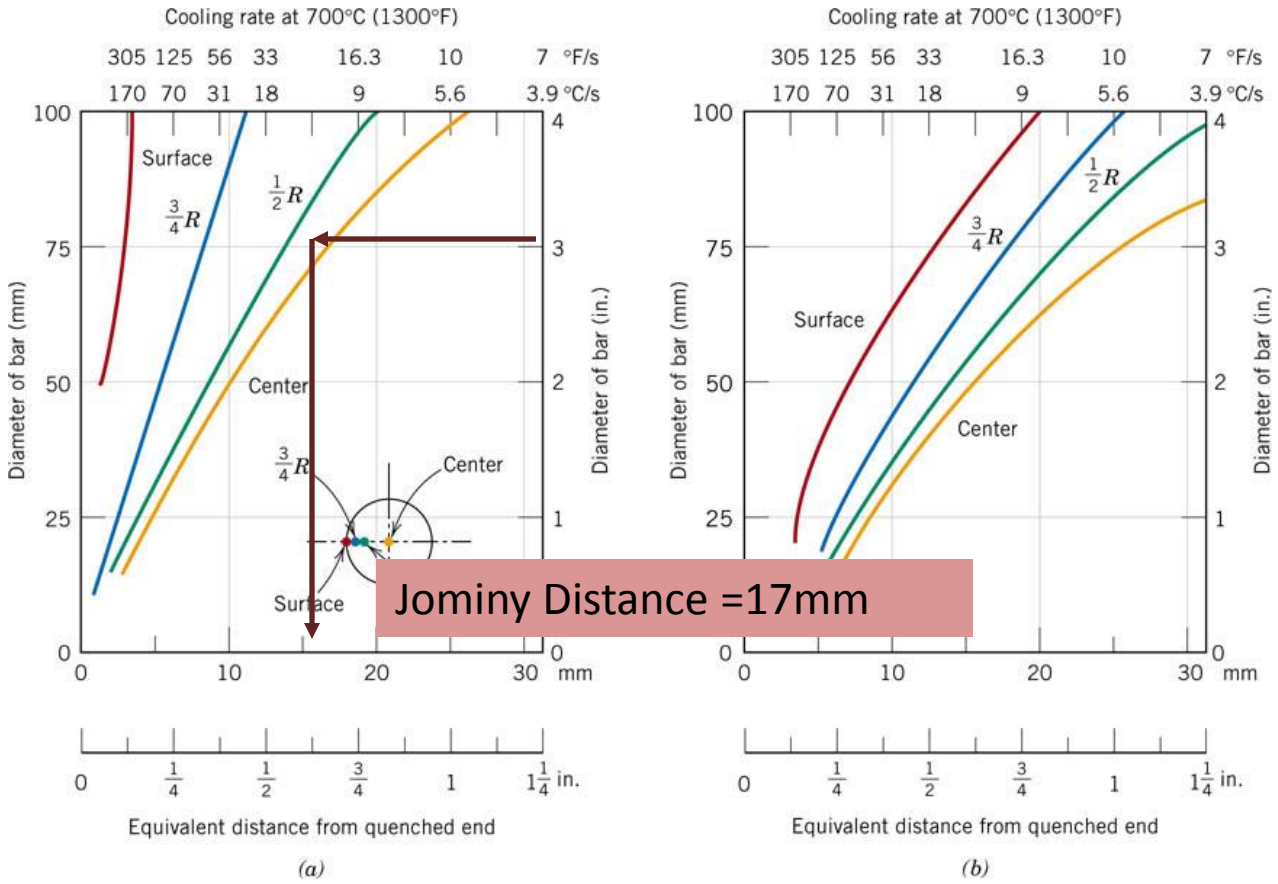


Carbon and Hardenability



Hardness and Hardenability

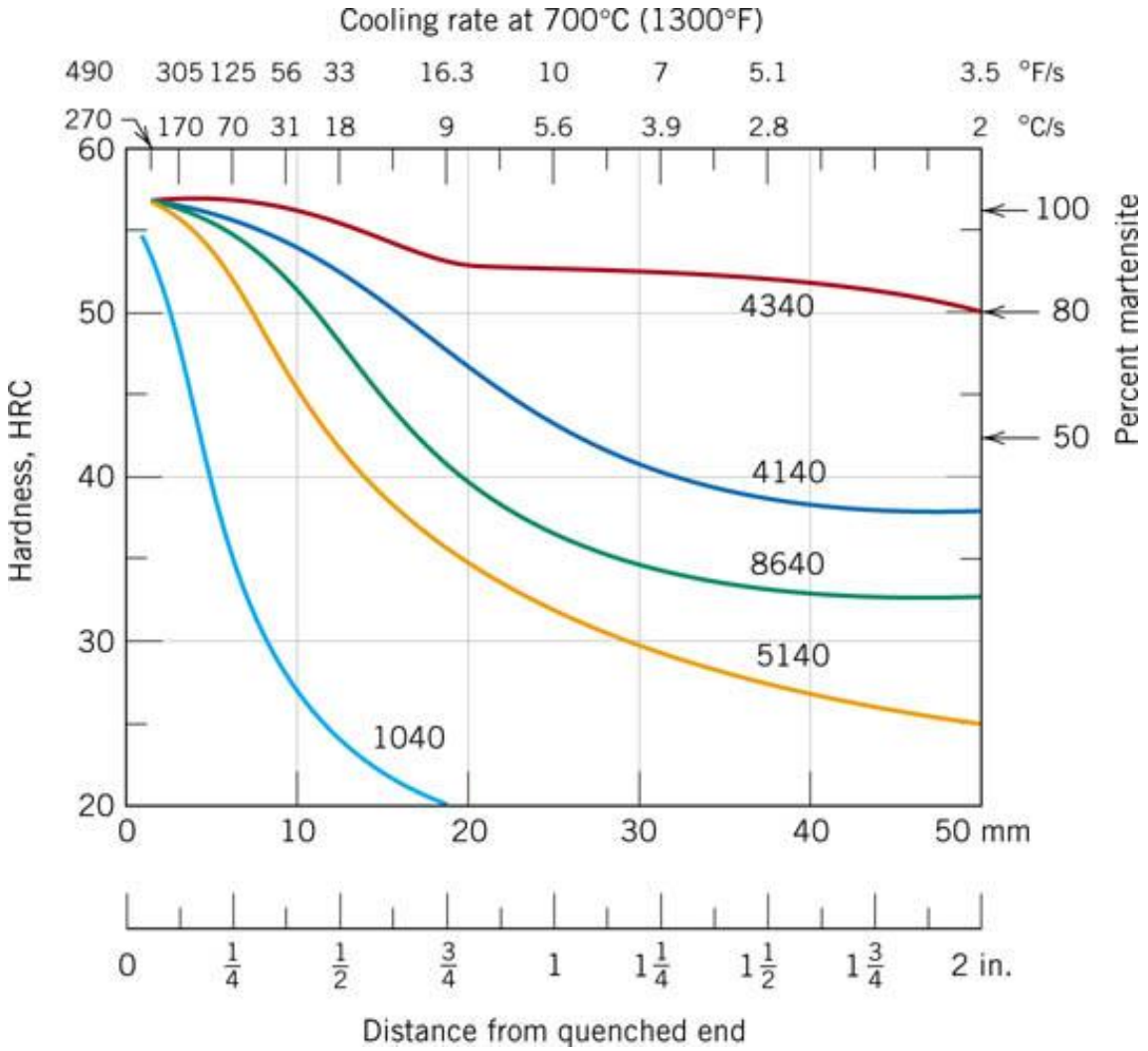
Predict the center hardness in a water quenched 3” bar of 8640



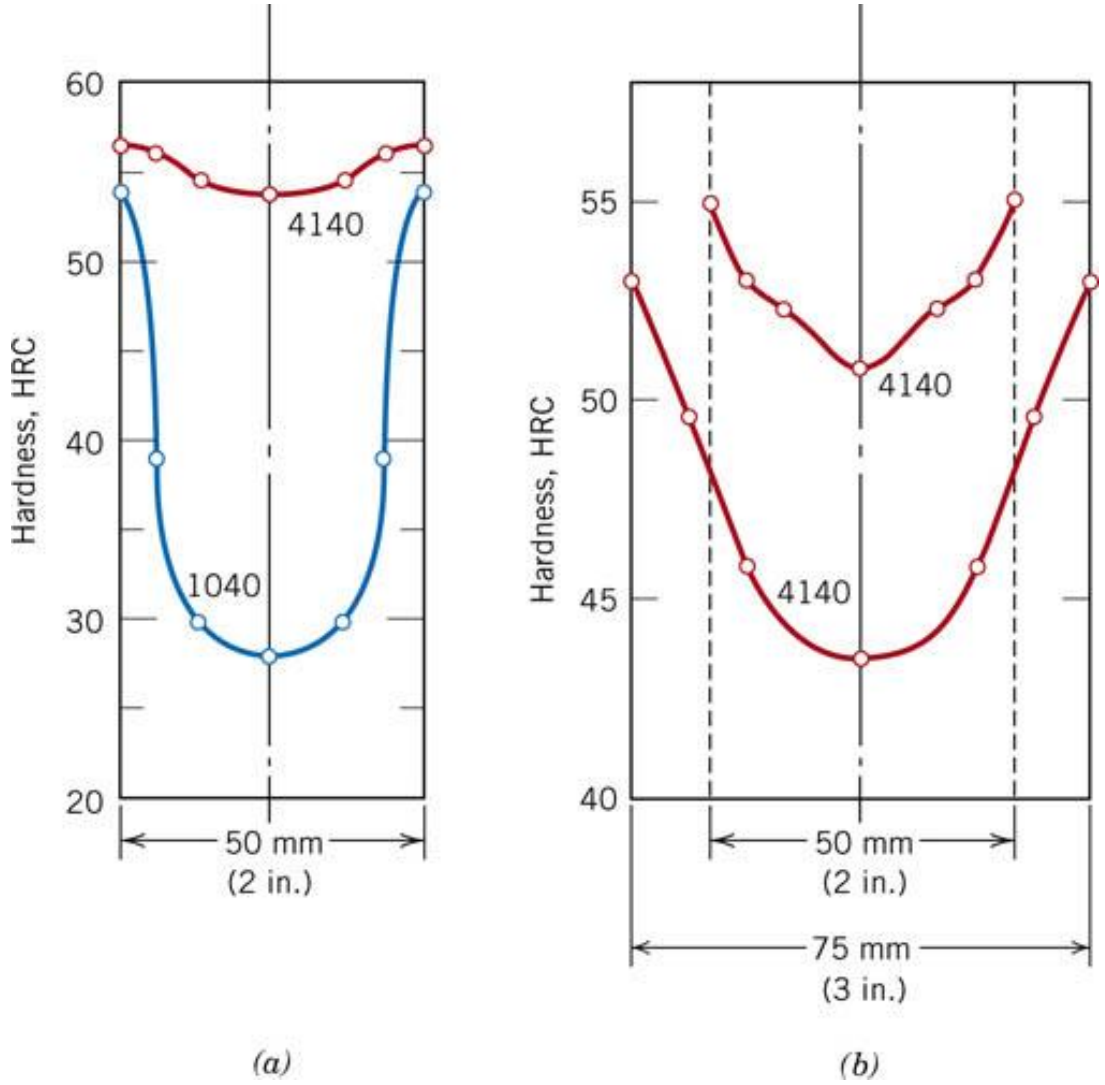
Water Quenched

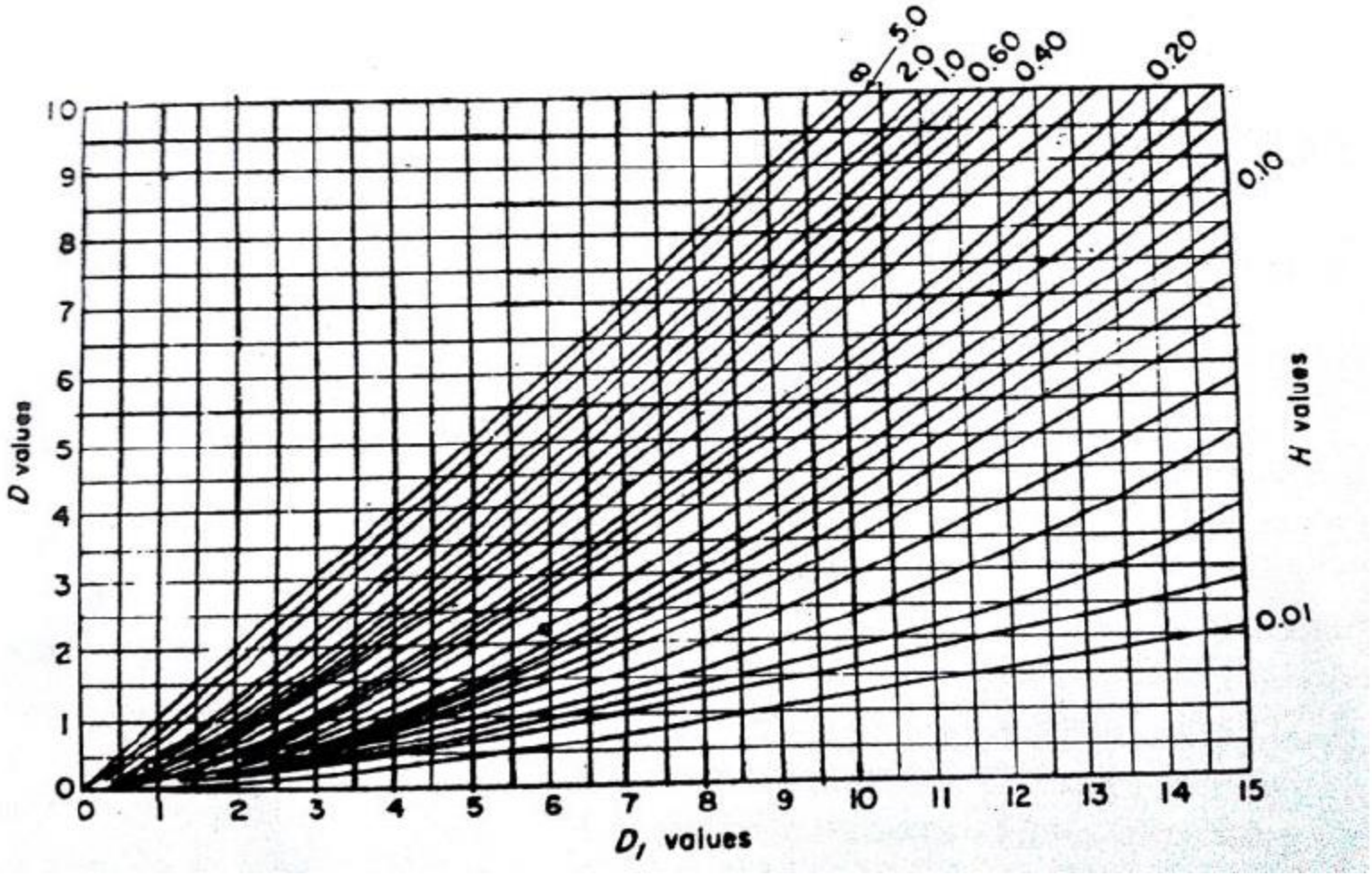
Oil Quenched

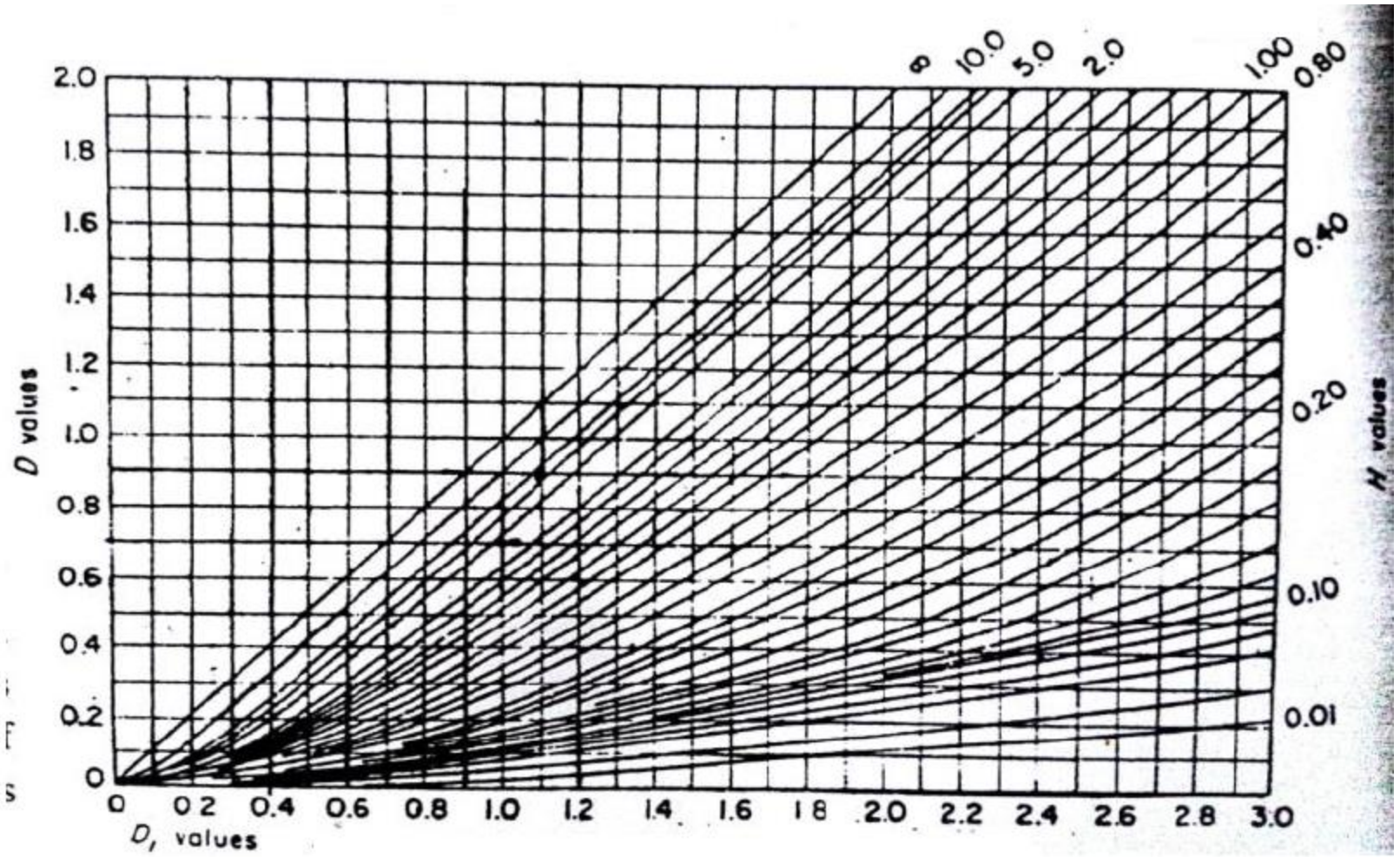
Alloying and Hardenability



Depth of Hardening




∞
5.0
2.0
1.0
0.60
0.40
0.20
0.10
0.01
H values
D values
D1 values
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15


∞
10.0
5.0
2.0
1.00
0.80
0.40
0.20
0.10
0.01
H values
D values
2.0
1.8
1.6
1.4
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
1.2
1.4
1.6
1.8
2.0
2.2
2.4
2.6
2.8
3.0
D, values

مثال(6-1)

a) إذا علمت أن (D_C =6") للفولاذ في وسط التبريد الذي له شدة تقسية مقدارها (H=0.2 in still oil) . ماهي قيمة D_I ؟
b) ماهي قيمة D_C في وسط التبريد الذي له شدة تقسية H=0.1 بالنسبة للفولاذ أعلاه؟

الحل

بإستخدام الشكل(6-24)

a) بالنسبة الى D_C=6" على المحور- Y ، نرسم خط أفقي يتقاطع مع منحني (H=0.2) و من نقطة التقاطع هذه نرسم خط عمودي على محور- X و منه نحصل على D_I =10" .
b) من نقطة التقاطع أعلاه ، نرسم خط عمودي يقاطع منحني H=0.1 ومن نقطة التقاطع هذه نرسم خط افقي يقاطع محور-Y ومنه نحصل على D_C=4.7" .

مثال(6-2)

أجريت عملية التقسية في حمام الماء المتحرك (وجود خضخضة) Agitated Water Bath لعدد من قضبان الفولاذ الدائرية ذات الأقطار المختلفة . وتم الحصول على النتائج التالية . إحسب شدة التقسية (H) لحمام الماء .

Du, inch =	0.63	1.72	2.54	5.38
D, inch =	2.10	2.67	3.33	6.00

الحل

Du/D =	0.30	0.644	0.763	0.897

Now Follow Steps:

- A transparent paper is taken and put on Fig.(6-21).
- X and Y axes are drawn.
- Du/D are plotted against D on it.
- The paper is moved. The curve is matched with curves in Fig.(6-21). It matches well with the curve that which cut the x-axis of this curve , where DH=3.
- Now, when D=3.33, and Du/D=0.763 (draw a vertical line from this point), DH=5, thus :

$$H = \frac{DH}{D} = \frac{5}{3.33} = 1.50$$

مثال(6-3)

حدد قيمة القطر الحرج المثالي Ideal Critical Diameter (D_I) للفولاذ في المثال(6-2) عندما تكون H=1.5 .

الحل

هناك طريقتين يمكن من خلالهما حل هذه المسألة تتضمن:

❶ The match curve of Fig.6-21 has a value of D_CxH=3 when Du/D=0 , thus, $D_c = \frac{D_c H}{H} = \frac{3}{1.5} = 2\ inch.$

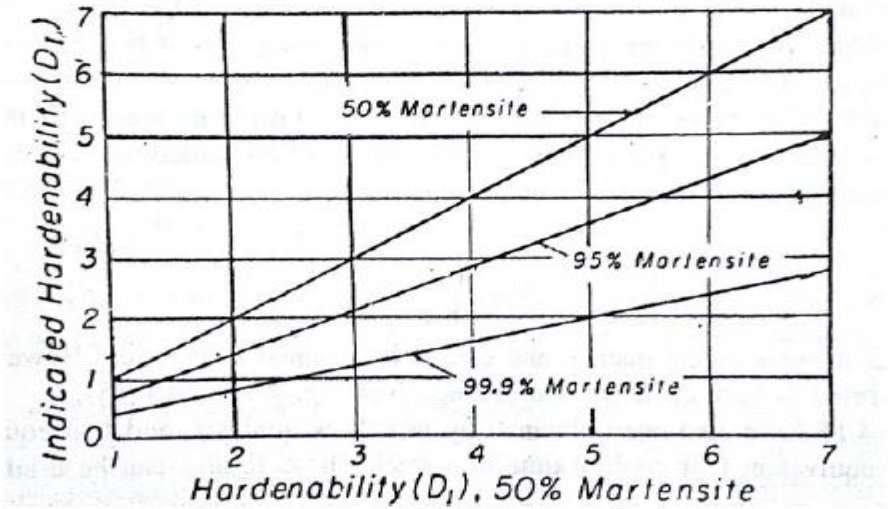
Now, take help of Fig. 6-24, to get D_I , when H=1.5,

D_I=2.65 inch.

❷ The curve drawn on transparent paper is extrapolated to x-axis, when Du/D of this curve =0, then the value at x-axis is D_C=2 inch, Now use Fig.6-24, to get D_I for D_C =2 inch and H=1.5 , D_I=2.65 inch.

مثال(4-6)

إذا علمت أن القطر الحرج المثالي (D_I) للفولاذ هو (2.5 inch) ، ماهي قيمة D_I إذا كان معيار قابلية التصليد Hardenability Criterion هو في الحد الأدنى 95%Martensite ؟ إستخدم الشكل التالي:



الحل

Given D_I for 50%Martensite . Use above Fig. for 2.5 inch on x axis , draw a vertical line to cut the curve for 95%Martensite, and then from that point , draw a horizontal line to cut y-axis .

The value is 1.77 inch.

Thus , D_I (95%Martensite)= 1.77 inch .

الجدول(4-6) علاقة محتوى الكاربون مع الصلادة Hardeness HRC

Carbon wt. %	*Maximum Hardness, HRC*	*Carbon wt. %*	*Maximum Hardness, HRC*
0.10	38	0.36	54
0.11	39	0.37	55
0.12	40	0.38	55
0.13	40	0.39	56
0.14	41	0.40	56
0.15	41	0.41	57
0.16	42	0.42	57
0.17	42	0.43	58
0.18	43	0.44	58
0.19	44	0.45	58
0.20	44	0.46	59
0.21	45	0.47	59
0.22	45	0.48	59
0.23	46	0.49	60
0.24	46	0.50	60
0.25	47	0.51	60
0.26	48	0.52	61
0.27	49	0.53	61
0.28	49	0.54	61
0.29	50	0.55	61
0.30	50	0.56	61
0.31	51	0.57	52
0.32	51	0.58	62
0.33	52	0.59	62
0.34	53	0.60	62
0.35	53		

الجدول(6-6) عوامل الضرب لكروس مان Grossman Multiplication Factors

Percent	Carbon-Grain Size			Mn	Si	Ni	Cr	Mo
	# 6	# 7	# 8					
0.05	0..0814	0.0750	0.0697	1.167	1.035	1.018	1.1080	1.15
0.10	0.1153	0.1060	0.0995	1.333	1.070	1.036	1.2160	1.30
0.15	0.1413	0.1315	0.1212	1.500	1.105	1.055	1.3240	1.45
0.20	0.1623	0.1509	0.1400	1.667	1.140	1.073	1.4320	1.60
0.25	0.1820	0.1678	0.1560	1.833	1.175	1.091	1.54	1.75
0.30	0.1991	0.1849	0.1700	2.000	1.210	1.109	1.6480	1.90
0.35	0.2154	0.2000	0.1842	2.167	1.245	1.128	1.7560	2.05
0.40	0.2300	0.2130	0.1976	2.333	1.280	1.146	1.8640	2.20
0.45	0.2440	0.2259	0.2090	2.500	1.315	1.164	1.9720	2.35
0.50	0.2580	0.2380	0.2200	2.667	1.350	1.182	2.0800	2.50
0.55	0.273	0.251	0.231	2.833	1.385	1.201	2.1880	2.65
0.60	0.284	0.262	0.241	3.000	1.420	1.219	2.2960	2.80
0.65	0.295	0.273	0.251	3.167	1.455	1.237	2.4040	2.95
0.70	0.306	0.283	0.260	3.333	1.490	1.255	2.5120	3.10
0.75	0.316	0.293	0.270	3.500	1.525	1.273	2.62	3.25
0.80	0.326	0.303	0.278	3.667	1.560	1.291	2.7280	3.40
0.85	0.336	0.312	0.287	3.833	1.595	1.309	2.8360	3.55
0.90	0.346	0.321	0.296	4.000	1.630	1.321	2.9440	3.70
0.95				4.167	1.665	1.345	3.0520	3.55
1.00				4.333	1.700	1.364	3.1600	3.70

$$D_I = D_{IC} \times f_{Mn} \times f_{Cr} \times f_{Ni} \times \dots \qquad (6-6)$$

$$D_I = D_{IC} \times 2.21(\%Mn) \times 1.4(\%Si) \times 2.13(\%Cr)$$

$$\times 3.275(\%Mo) \times 1.47(\%Ni)$$

حيث أن:

f_{Mn} = عامل الضرب وفقاً لكمية Mn الموجودة في الفولاذ .

f_{Cr} = عامل الضرب وفقاً لكمية Crالموجودة في الفولاذ .

f_{Ni} = عامل الضرب وفقاً لكمية Niالموجودة في الفولاذ .
...الخ .

أما بالنسبة للعناصر السبائكية التي ليست لها تأثير مثل الكبريت Sulphur ، الفسفور Phosphor و الشوائب Impurities فإن قيمة معامل الضرب تعتبر وحدة واحدة أي أن:

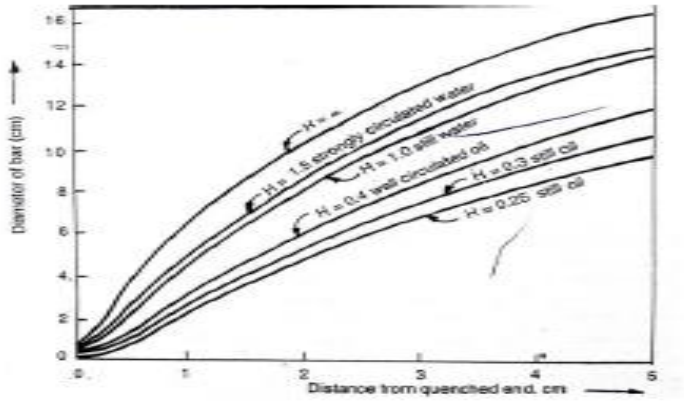
$f_S = f_P = 1$

مثال(5-6)

إذا علمت أن مسافة جومني الحرجة Critical Jominy Distance في الفولاذ هي 12.5 mm . ماهي قيمة D_I؟ و ماهي قيمة D_C في الماء الساكن Still Water ؟ (H=1) .

الحل

بإستخدام الشكل التالي يمكن إجراء الحسابات كالآتي:



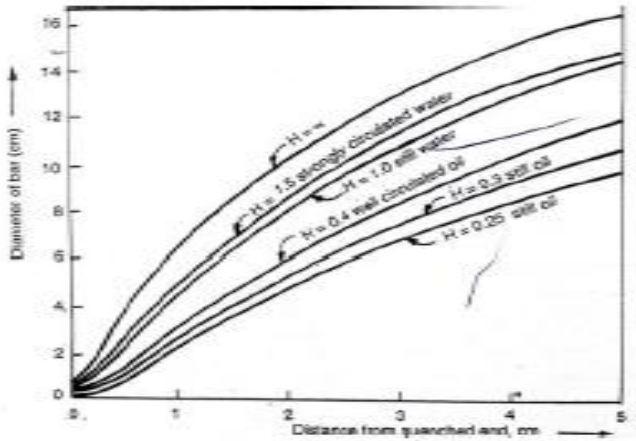
a) For 12.5 mm on x-axis , draw a vertical line to intersect curve for $H = \infty$, and from there, draw a horizontal line to intersect at y-axis (75 mm) D_I=75 mm
b) For D_I=75 mm , draw a horizontal line to intersect curve for $H = \infty$ and from this intersection point , draw a vertical line to intersect curve for $H = 1$, and draw a horizontal line to intersect y-axis to get D_C(in H=1)=50 mm.

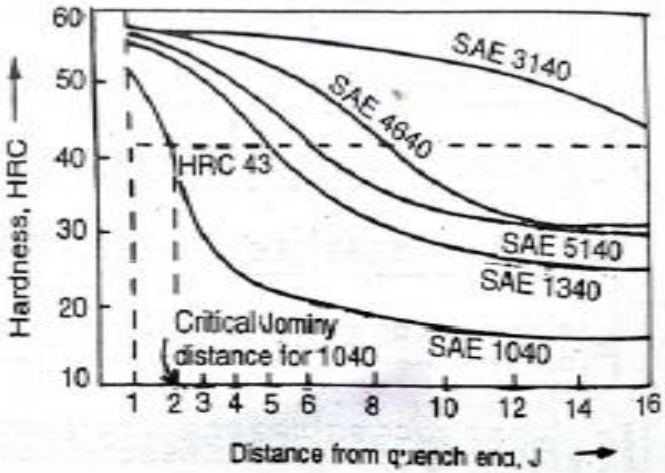
مثال(7-6)

ماهي قيمة الصلادة عند مركز قطر القضيب (SAE4640 Steel , d=5 cm) عندما يتم تقسيته في الماء الساكن Still Water (H=1) .

الحل

بإستخدام الأشكال التالية يمكن إجراء الحسابات كالآتي:





عند 5 cm على محور-y نرسم خط أفقي يقطع المنحني عند H=1 و من نقطة التقاطع نرسم خط عمودي يقطع محور-x ومنه نجد أن Jominy Distance= 7.6 أي أن 7.6 Jominy Distance = 12 mm (0.47 inch) . الآن نستخدم هذه المسافة أي لتحديد الصلادة حيث نجدها HRC=45 .

مثال(8-6)

إحسب قيمة D_I من عوامل Grossman و Moser-Legat للفولاذ التالي:

ASTM grain size No.6:C=0.35, Si=0.3,Mn=0.7%, Cr=1.4%,Ni=1.4%, Mo=0.2%

الحل

i. Grossman factors

$$D_{IC} = 0.22$$

$$D_I = 0.22 \times 1.2 \times 3.3 \times 4.0 \times 1.5 \times 1.6 = 8.4\ inch$$

ii. Mosser-Legat factors

$$D_I = 8.0\ inch$$

مثال(6-9)

إحسب قابلية التصليد(قيمة D_I) بإستخدام عوامل Grossman للفولاذ التالي:

ASTM grain size No.7:C=0.35, Si=0.35,Mn=1%, Cr=0.5%,Ni=0.7%, Mo=0.1%

الحل

بإستخدام الجدول(6-6)

$$D_{IC} = 0.2$$

$$f_{Mn} = 4.333 \quad f_{Si} = 1.245, = 1.255, \; f_{Cr} = 2.080, \; f_{Mo} = 1.30$$

$$D_I = 0.2 \times 4.333 \times 1.245 \times 1.255 \times 2.08 \times 1.3 = 3.66 \; inch$$